Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 191-202

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۰۲-۱۹۱

ارزیابی پاسخ به تنش خشکی در برخی از لاین‌های موتانت برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

هاشم امین‌پناه[۱]- پیمان شریفی[۱*]- علی اکبر عبادی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

مجموعه‌ای از ۱۸ ژنوتیپ برنج شامل ۱۴ لاین موتانت M5 و چهار رقم والدینی آنها تحت تنش خشکی در مرحله زایشی و بدون تنش در دو آزمایش جداگانه به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر خشکی، ژنوتیپ و اثرمتقابل دو فاکتور بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه و درصد باروری دانه معنی‌دار بود. تنش خشکی در مرحله زایشی باعث کاهش عملکرد دانه (۵۹/۴۷٪)، درصد باروری دانه (۱۹/۰۸٪)، ارتفاع بوته (۹/۳۵٪)، مساحت برگ پرچم (۸/۵۹٪) و طول خوشه (۱/۶۱٪) شد. شاخص تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین هارمونیک (HM) به‌عنوان شاخص‌های برتر بودند و از آنها برای معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی و با عملکرد بالا در شرایط دارای تنش خشکی و بدون تنش استفاده شد. با توجه به شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ (لاین‌های موتانت M5 از رقم طارم محلی) و (لاین موتانت M5 از رقم هاشمی) متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۴ (لاین موتانت از رقم خزر)، ۱۵ (هاشمی)، ۱۶ (خزر) و ۱۷ (طارم) حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. بنابراین موتاسیون سبب ایجاد تحمل به تنش خشکی در نتاج شده است و لذا می‌توان از لاین‌های فوق در پروژه‌های معرفی ارقام مقاوم یا متحمل به خشکی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه مؤلفه‌های اصلی، لاین موتانت، عملکرد دانه، مرحله زایشی

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) در بین گیاهان زراعی بالاترین نیاز آبی را دارد و زراعت آن، ۲ تا ۳ برابر بیشتر از سایر گیاهان زراعی مانند گندم و ذرت به آب نیاز دارد (Yang and Zhang, 2010). از آنجا که احتمال وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی در مقایسه با مرحله رویشی بیشتر است و تنش خشکی در مرحله زایشی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه و اجزای آن دارد، به‌طور معمول، در ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج، اثرات تنش خشکی در انتهای فصل مورد توجه می‌باشد (Venuprasad *et al*., 2008).

برای ارزیابی آسان‌تر ژنوتیپ‌ها در مواجهه با تنش خشکی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، شاخص‌های مختلفی به‌عنوان معیار انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد آن‌ها در شرایط تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که از جمله می‌توان به شاخص تحمل به تنش[۳] (TOL) و میانگین بهره‌وری[۴] (MP) (Rosielle and Hamblin, 1981) و شاخص حساسیت به تنش[۵] (SSI) (Fisher and Mourer, 1987) اشاره نمود. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری[۶] (GMP) به مقادیر نسبتاً زیاد Ys و Yp حساسیت ندارد و در مقایسه با MP دارای اثر اریبی به سمت بالا نیست. شاخص تحمل به تنش[۷] (STI)، معیار مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها جهت دستیابی به عملکرد بالا تحت شرایط تنش می‌باشد و ژنوتیپ‌هایی که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش می‌باشند، را از هم جدا می‌کند (Fernandez, 1992). شاخص‌های دیگر برای ارزیابی

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران
۲- استادیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sharifi@iaurasht.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61793

3- Tolerance Index
4- Mean Productivity
5- Stress Susceptibility Index
6- Geometric Mean Productivity Index
7- Stress Tolerance Index

ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، میانگین هارمونیک[1] (HM) (Fernandez, 1992)، شـاخص پایـداری عملکـرد[2] (YSI) (Bouslama and Schapaugh, 1984) و شاخص عملکـرد[3] (YI) (Gavuzzi *et al.*, 1997) هستند.

مطالعات متعددی در کشور برای ارزیابی عملکرد برنج در شـرایط تنش خشکی صورت گرفته است. از جمله در تحقیقی نشان داده شـد که شاخص‌های تحمل به تنش، میانگین هندسی، شـاخص میـانگین تولیـد و میـانگین هارمونیـک بهتـرین شـاخص‌هـا جهـت گـزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول برنج در هر دو محیط تـنش خشـکی و بـدون تـنش بودنـد (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2012). در تحقیقـی دیگـر نشان داده شد که شاخص‌های STI، HM، GMP و MP همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش خشکی داشتند و به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهـت گـزینش ارقـام پرمحصـول در هـر دو محـیط تـنش و بـدون تـنش شناسـایی شـدند (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008). همچنـــین در تحقیقـــی شاخص‌های GMP و STI به‌عنوان بهترین شاخص معرفـی شـدند و مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها بـر اسـاس ایـن شـاخص‌هـا شناسـایی شـدند (Erfani *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای دیگر با ارزیـابی شـاخص‌هـای تحمل به خشکی در ۱۵ رقم برنج، شاخص‌های STI، MP، GMP و HM به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها بـرای شناسـایی ژنوتیـپ‌هـای مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی در مرحله رویشـی و شـاخص MP به‌عنوان مطلوب‌ترین شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقـاوم و یـا متحمل به تنش خشکی در مرحله زایشی معرفی شـدند (Kohansal Vajargah *et al.*, 2010). در تحقیقی دیگر، با ارزیابی شاخص‌هـای مقاومـت بـه خشـکی در ۵۰ لایـن نسـل F5 نشـان داده شـد کـه شاخص‌های STI، MP، GMP و HM همبستگی مثبت و بالایی بـا عملکـرد دانـه در شـرایط تـنش و بـدون تـنش داشـتند و بـه‌عنـوان شاخص‌های مناسب برای انتخـاب ژنوتیـپ‌هـای بـا عملکـرد بـالا و متحمل به خشکی بودند (Rahimi *et al.*, 2013).

با توجه به در معرض تنش خشکی قرار گرفتن ژنوتیپ‌های بـرنج در کشور و از طرفی کمبود منابع متحمل به خشکی، هدف از تحقیـق حاضر بررسی واکنش لاین‌های موتانت برنج در برابر تنش خشـکی و معرفی شاخص‌های برتر و در نهایت شناسایی لاین یا لاین‌های برتـر و متحمل به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعـی ۹۴-۱۳۹۳ در مؤسسـه تحقیقـات برنج کشـور در رشـت (بـا عـرض جغرافیـایی ۳۷ درجـه و ۲۸ دقیقـه شمالی، طول جغرافیـایی آن ۴۹ درجـه و ۲۸ دقیقـه شـرقی و ارتفـاع ۲۰/۲۶ متر پایین‌تر از سطح دریا) انجام شد. این تحقیق به‌صـورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصـادفی بـا سـه تکرار و در دو شرایط نرمال و تنش خشکی اجرا شد. مواد گیاهی مورد استفاده در این آزمایش شامل تعداد ۱۴ لاین موتانت (۷ لاین موتانت از رقم هاشمی، شش لاین موتانت از رقم طارم محلـی و یـک لایـن موتانت از رقم خزر) به همراه چهار رقم (هاشمی، طارم محلی، خـزر و گیلانه) بودند. لاین‌های موتانت از پـروژه‌ای مشـترک بـا پژوهشـکده کشاورزی هسته‌ای به‌دست آمده بودنـد. جهـت جلـوگیری از ورود آب باران (بارندگی) به کرت‌های تحت تنش خشکی، از پوشش پلاستیکی به‌عنوان پناه‌گاه (شیلتر) استفاده شد. در آزمایش مربوط به تنش کمبود آب انتهای فصل، آبیاری در مراحل آغازش جوانه‌های گل یعنی ظهور خوشه جوان (۵۰ روز بعد از نشاءکاری) به‌طور کامـل قطـع گردیـد. از زمانی‌که رطوبت خاک به ۴۰ درصد رسید، تنش کم‌آبـی شـروع شـد. مساحت هر کرت ۱۳ مترمربع و فاصله نشاءهـا ۲۵ سـانتی‌متـر روی ردیف و ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف و تعداد نشاءها در هر کپه ۳ عدد بود. در طول دوره رشد و همچنـین زمـان رسـیدگی صـفات ارتفـاع بوتـه (میانگین ارتفاع بلندترین پنجه از ناحیه طوقه در سطح خاک تا نـوک خوشه بدون احتساب ریشک بر حسب سانتی‌متر)، طول برگ پرچم (از زیر برگ پرچم تا نوک آن بر حسب سانتی‌متر)، عرض برگ پرچم (از پهن‌ترین قسمت برگ پرچم بر حسب سانتی‌متر)، تعـداد پنجـه بـارور (میانگین تعداد پنجه بارور در ۱۰ کپـه تصـادفی از هـر کـرت)، طـول خوشه (میانگین طول ۱۰ خوشه اصلی از ۱۰ کپه در هر کرت، از گـره زیر خوشه تا انتهای خوشه بـدون در نظـر گـرفتن ریشـک، برحسـب سانتی‌متر)، طول خروج خوشه از غلاف (میانگین خـروج خوشـه‌هـا از بالای غلاف برگ پرچم تا گره زیر خوشه در زمـان رسـیدگی)، تعـداد دانه پر (تعداد دانه‌های پر در خوشه‌های اصلی در ۱۰ کپه تصـادفی از هر کرت بعد از رسیدن کامل دانه‌ها) و تعداد دانه پوک (تعداد دانه‌های پوک و معیوب در خوشه‌های اصلی ۱۰ کپـه تصـادفی از هـر کـرت) و طول و عرض شلتوک (طول و عرض ۵۰ شلتوک در هر کپه و در ۱۰ کپه از هر کرت بر حسب میلی‌متر توسط دستگاه کولیس) اندازه‌گیـری شدند. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، از هر واحد آزمایشـی ۱۰ کپه به‌طور تصادفی انتخاب شد و میانگین آنها مورد تجزیـه و تحلیـل آماری قرار گرفت. همچنین مساحت برگ پرچم (طول و عرض بـرگ پرچم در ضریب ۰/۷۵)، باروری دانه (از تقسیم تعداد دانه پر بـر تعـداد کل دانه‌ها) و نسبت طول به عرض دانه نیز محاسبه شـدند. محصـول هر ترکیب تیماری در زمان رسیدن کامل از هشت مترمربع هـر واحـد آزمایشی پس از حذف حاشیه، برداشت و با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد و به‌عنوان عملکرد دانه در نظر گرفته شد.

پس از برداشت، با استفاده از عملکرد ژنوتیپ‌ها در شـرایط بـدون

1- Harmonic Mean
2- Yield Stability Index
3- Yield Index

تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش ($\overline{Y}_P$) و تنش ($\overline{Y}_S$)، شاخص‌های تحمل به تنش خشکی به شرح زیر محاسبه شدند:

۱- شاخص حساسیت به تنش (Fischer and Maurer, 1978)

$$SSI = \frac{1-(Ys/Yp)}{SI}$$

که در آن شاخص تنش[1] (SI) از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SI = 1 - \frac{\overline{Y}s}{\overline{Y}p} = \frac{(\overline{Y}p - \overline{Y}s)}{\overline{Y}p}$$

۲- شاخص تحمل (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$TOL = Yp - Ys$$

۳- متوسط عملکرد یا میانگین بهره‌وری تولید (Rosielle and Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Yp + Ys}{2}$$

۴- میانگین هندسی قابلیت تولید (Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{YpYs}$$

۵- شاخص تحمل به تنش (Fernandez, 1992):

$$STI = \frac{YpYs}{(\bar{Y}p)^2}$$

۶- شاخص عملکرد (Gavuzzi *et al.*, 1997):

$$YI = \frac{Y_S}{\overline{Y}_S}$$

۷- شاخص پایداری عملکرد (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_S}{Y_P}$$

۸- میانگین هارمونیک (Fernandez, 1992):

$$HM = \frac{2(Y_P \times Y_S)}{Y_P + Y_S}$$

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه و سایر صفات زراعی در ارقام مورد مطالعه، همبستگی بین شاخص‌ها و رسم شکل سه‌بعدی به کمک نرم‌افزار SAS ver 9.2 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین‌ها

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر خشکی بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد پنجه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد و مساحت برگ پرچم و طول خروج خوشه از غلاف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات مورد مطالعه وجود داشت. اثر معنی‌دار ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد بر صفات مورد مطالعه بیانگر وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها است. برخی از این صفات می‌توانند در ایجاد تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه استفاده شوند. اثر متقابل ژنوتیپ در خشکی برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خروج خوشه از غلاف، طول خوشه و درصد باروری دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). این امر نشان‌دهنده آن است که تغییرات قابل ملاحظه و بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال وجود داشت و همچنین واکنش ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط متفاوت رطوبتی برای صفات مورد مطالعه یکسان نبود و ژنوتیپ‌ها عکس‌العمل‌های متفاوتی در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری نرمال داشتند. در تطابق با نتیجه حاضر، محققین دیگری نیز اثرمتقابل ژنوتیپ در تنش خشکی را بر صفات فوق گزارش نمودند (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008; Ghiasy Oskoee *et al.*, 2013).

نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که مقادیر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد پنجه و درصد باروری دانه در شرایط آبیاری نرمال در مقایسه با تنش خشکی بیشتر بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). تجزیه واریانس ساده داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی برای صفات ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خوشه، درصد باروری دانه و عملکرد دانه دارای اختلاف معنی‌دار بودند (داده‌ها ارائه نشده‌اند). در شرایط آبیاری نرمال بیشترین میزان ارتفاع بوته (۱۶۸/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۷ بود. ژنوتیپ ۱۴ بیشترین میزان مساحت برگ پرچم (۳۶/۹۰ سانتی‌متر مربع) و طول خروج خوشه از غلاف (۱۱/۳۳ سانتی‌متر) را دارا بود. بیشترین تعداد پنجه (۲۰/۶۷) مربوط به ژنوتیپ ۸ بود. بیشترین میزان طول خوشه (۳۱/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به ژنوتیپ ۱۱ بود. بیشترین درصد باروری دانه (۹۵/۶۱ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۱۳ بود. بیشترین میزان طول به عرض دانه (۴/۶۲) و عملکرد دانه (۴۹۵۵/۶۷ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵ و ۴ بود. در شرایط تنش خشکی، بیشترین میزان ارتفاع بوته (۱۵۷/۳۳)، مساحت برگ پرچم (۳۰/۶۵ سانتی‌متر مربع) و تعداد پنجه بارور (۲۴/۳۳) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۷ و ۱۸ بود. بیشترین میزان طول خوشه (۳۱/۳۳ سانتی‌متر) و درصد باروری دانه (۸۴/۲۹) نیز به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ بود.

1- Stress Index (SI)

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه و برخی از صفات مورفولوژیکی برنج در شرایط تنش و بدون تنش

Table 1- Combined analysis of variance for grain yield and some of the rice morphological traits under non-stress and drought stress conditions

SOV	منابع تغییرات	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)							
			نسبت طول به عرض دانه Grain length to width ratio	درصد باروری دانه grain fertility percentage	طول خروج خوشه از غلاف Panicle exit length	طول خوشه Panicle length	تعداد پنجه Tiller number	مساحت برگ پرچم Flag leaf area	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Grain yield
D	خشکی	1	0.32^{ns}	7744.62**	62.86*	5.55^{ns}	176.33**	124.33*	5097.81**	191818709.5**
R(D)	تکرار درون خشکی	4	0.07	51.21	5.80	1.34	1.43	12.93	17.73	350094.5
G	ژنوتیپ	17	0.46**	462.19**	22.33**	29.34**	29.55**	70.93**	1011.14**	820879.8**
D*G	ژنوتیپ × خشکی	17	0.15^{ns}	120.88**	3.25**	3.71**	22.21**	38.36**	195.52**	341037.8**
Error	خطا	68	0.16	25.80	1.83	1.39	4.33	4.64	9.49	37354.7
CV	ضریب تغییرات		10.1	6.3	18.3	4.2	12.5	9.0	2.2	6.1

ns ، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: not-significant and significant at 5 and 1 percent level of probability, respectively

همچنین بیشترین میزان طول خروج خوشه از غلاف (۹/۶۷ سانتی‌متر)، نسبت طول به عرض دانه (۴/۷۸) و عملکرد دانه (۲۷۸۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های ۷، ۱۸ و ۱ بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). در شرایط تنش خشکی کمترین میزان عملکرد دانه (۶۴۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۱۵ بود، که در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال با کاهش ۸۲ درصدی مواجه شد. دلیل این کاهش شدید عملکرد می‌تواند ناشی از کاهش طول خروج خوشه از غلاف و همچنین پابلندی بوته‌ها باشد که منتج به افزایش تعداد دانه پوک می‌شود. در تطابق با این نتیجه، یکی از مهمترین دلایل اثرات خشکی، ممانعت از رشد طولی بالاترین میانگره یعنی دمگل عنوان شده است که منجر به باقی ماندن خوشه درون غلاف برگ پرچم و از دست رفتن محصول می‌شود (Otoole and Namuco, 1983). در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۷ و ۱۳ بالاترین مقدار عملکرد را به خود اختصاص دادند و مقدار کاهش عملکرد آنها به‌ترتیب برابر با ۴۲، ۵۶، ۵۴، ۴۸، ۴۹ و ۵۰ درصد بود. کمترین کاهش عملکرد دانه (۴۲ درصد) مربوط به ژنوتیپ ۱ با بیشترین میزان عملکرد دانه بود که می‌توان آن را به وجود بوته‌های پاکوتاه در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال و عدم تغییر چشمگیر در مساحت برگ پرچم دانست. در تطابق با این نتیجه، گزارش شده است که گیاهان کوچک با سطح برگ کمتر و شاخص سطح برگ کوچک‌تر به‌طور نسبی آب کمتری در نواحی با کمبود آب مصرف می‌کنند (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2013). ژنوتیپ‌های ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ که در شرایط آبیاری نرمال بیشترین عملکرد دانه را داشتند، از نظر تمام صفات درصد باروری دانه، طول خوشه، طول خروج خوشه از غلاف، تعداد پنجه و مساحت برگ پرچم و یا برخی از آنها نیز دارای مقادیر بالایی بودند، به‌طوری‌که کاهش و عدم پایداری در این اجزا باعث کاهش عملکرد این ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی شد. بیشترین میزان کاهش صفات مورد مطالعه تحت شرایط تنش خشکی، مربوط به عملکرد دانه (۵۹/۴۷ درصد) بود. پس از آن نیز صفات درصد باروری دانه (۱۹/۰۸ درصد)، طول خروج خوشه از غلاف (۱۸/۶۹ درصد)، ارتفاع بوته (۹/۳۵ درصد)، مساحت برگ پرچم (۸/۵۹ درصد) و طول خوشه (۱/۶۱ درصد) در رتبه‌های بعدی از نظر کاهش تحت تأثیر تنش خشکی بودند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاهش شدید عملکرد دانه ناشی از کاهش اجزای آن و برخی از صفات مورفولوژیک مطالعه‌شده می‌باشد. این نتایج با یافته‌های محققین دیگر (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2012; Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) مطابقت دارد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ناشی از افزایش تعداد دانه پوک، کاهش درصد باروری دانه، طول خروج خوشه از غلاف، مساحت برگ پرچم و طول خوشه بود. درصد کاهش مساحت برگ پرچم در اثر تنش خشکی برابر ۸/۵۹ درصد بود، با توجه به اینکه برگ پرچم یکی از اجزای فعال در فتوسنتز می‌باشد، کاهش

مساحت برگ پرچم کـه ناشـی از کـاهش طـول و عـرض آن اسـت، می‌تواند یکی از دلایل کاهش تعـداد دانـه پـر در خوشـه و در نتیجـه عملکرد دانه باشد. محققین دیگری نیز به تأثیر کاهش طول و عرض برگ پرچم در برنج باعث کاهش فتوسنتز، تعـداد دانـه پـر در خوشـه، تعداد دانه در خوشه و تعـداد خوشـه در بوتـه یعنـی اجـزای عملکـرد می‌گردد (Lafitte *et al.*, 2004; Safaei Chaeikar *et al.*, 2008). در تطابق با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر تأثیر منفی تنش خشکی بـر تعداد دانه‌های پر در دانه و در نتیجه درصد باروری دانـه، در تحقیقـی نشان داده شد که بیشترین تعداد دانه پر در ساقه در تیمار بـا رطوبـت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعـی خـاک و کمتـرین میـزان آن در تیمـار بـا رطوبت ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مشاهده شد (Zubaer *et al.*, 2007). همچنین نشان داده شده است که تعداد گلچه‌هـای غیربـارور در شرایط تنش خشکی شدید در مقایسه بـا شـرایط بـدون تـنش بـه میزان ۸۱ درصد افزایش یافت (Davatgar *et al.*, 2009). همچنـین اظهار شده است، در شرایطی کـه تـنش خشـکی نزدیـک بـه مرحلـه گلدهی (که حساس‌ترین مرحله رشد است) اتفاق بیفتد، اجزای اصـلی عملکرد تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (Fischer *et al.*, 2003).

ارزیابی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

بیشـترین میـزان شـاخص‌هـای MP، GMP، STI، YI، YSI و HM مربوط به ژنوتیپ شماره ۱ بود. از آنجا که میزان بالای عـددی شاخص‌های فوق نشان‌دهنـده تحمـل نسـبی بـه تـنش اسـت، پـس می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ شماره ۱ متحمل‌ترین ژنوتیـپ بـود. شدت تنش (SI) برابر با ۰/۵۹ بود. همچنین کمترین میزان شـاخص تحمل به تنش (TOL)، که مقادیر پایین آن نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام است، مربوط به ژنوتیپ ۱۷ بود و پس از آن ژنوتیپ‌های ۱، ۱۱، ۶ و ۷ قرار داشتند. بنابراین، ژنوتیپ‌های فوق متحمل به تنش خشکی بودند. بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌هـای ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۰ بـه تنش خشکی حساس بودند. گزینش بر اساس سطوح پـایین شـاخص TOL، منجر به انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شـود کـه عملکـرد آن‌هـا در محیط دارای تنش در مقایسه با محیط بدون تـنش، کـاهش کمتـری داشته باشد. از آنجا که ممکن است عملکرد رقمـی در شـرایط بـدون تنش کم باشد (هماننـد ژنوتیـپ ۱۷) و در شـرایط تـنش خشـکی بـا کاهش کمتری مواجه شود و بـه‌عنـوان رقـم متحمـل معرفـی شـود، بنابراین پایین بودن شاخص TOL لزوماً نشانگر بـالا بـودن عملکـرد چنین رقمی در شرایط بدون تنش نیست (Rosielle and Hamblin, 1981). با بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تـنش و بـدون تنش مشخص شد که شاخص TOL در گزینش ژنوتیپ‌هـای کـه در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفـق نبود، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های ۱۷، ۱۱ و ۶ با عملکرد نسـبتاً پـایین در هر دو محیط به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند (جدول ۲). در واقع شاخص TOL، به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیـان می‌کند. یعنی ژنوتیپ‌هایی که دارای شاخص تحمـل پـایینی هسـتند، تغییرات کمتری نشان می‌دهند و برعکس. پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان یک فاکتور تحمل به تنش، بیشتر ارزش فیزیولوژیک دارد تـا زراعی، بنابراین، انتخاب بـر اسـاس شـاخص TOL، باعـث گـزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد به نسبت پـایین در محـیط عـادی و عملکـرد پایین در شرایط تنش می‌گردد، که چنین ژنوتیپ‌هایی از نظر اشنایدر و همکاران (Schnider *et al.*, 1997) به علت پایین بودن عملکـرد از نظر زراعی مناسب نیستند. در نتیجه پایین بودن شاخص تحمل الزامـاً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکـن است عملکرد یک ژنوتیپ در شـرایط بـدون تـنش پـایین باشـد و در شرایط تنش نیز با افت کمتری همراه باشـد کـه ایـن باعـث کوچـک ماندن شاخص تحمل به تنش می‌شود و در نتیجه این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی می‌گردد.

ژنوتیپ‌های ۱، ۱۷، ۷ و ۲ که به‌ترتیب کمتـرین مقـادیر شـاخص حساسیت محیطی (SSI) را داشتند، جزء ارقام متحمل بودنـد. از نظـر این شاخص ژنوتیپ ۱۵، حساس‌ترین ژنوتیپ بود. گزینش ژنوتیپ‌هـا بر اساس این شاخص منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ولی با پتانسیل عملکرد پایین می‌شود و این شاخص قادر بـه تفکیـک ژنوتیپ‌های متحمل به تنش از ارقام با پتانسیل عملکرد پایین نیسـت. به عبارتی دو ژنوتیپ با عملکرد دانه بالا و پـایین، در صـورت داشـتن اختلاف عملکرد یکسان در شرایط تنش و عـدم تـنش بـرای هـر دو ژنوتیپ مقدار SSI یکسانی خواهند داشت. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از SSI مواد آزمایشی را صرفاً بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند به‌عبارت دیگر با استفاده از این شـاخص مـی‌تـوان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنهـا مشخص کـرد (Fischer and Maurer, 1978) و بـه‌منظـور یـافتن ژنوتیپ‌های متحمـل ایـن شـاخص کـارایی بـالایی دارد. در واقـع در شاخص حساسیت (SSI) تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش مدنظر قرار می‌گیرد. به این معنـی کـه اگـر ژنـوتیپی در هـر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بـالاتری باشـد، امـا درصـد تغییرات زیادی را نشان دهـد، بـه‌عنـوان ژنوتیـپ متحمـل شناسـایی نمی‌شود. به همین دلیل انتخاب بر اساس این شاخص، باعث کـاهش پتانسـیل عملکـرد در محـیط‌هـای مناسـب و بـدون تـنش مـی‌شـود (Schnider *et al.*, 1997).

جدول ۲- برآورد شاخص‌های مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد دانه

Table 2– Drought stress tolerance indices and grain yield in the studied rice varieties

شماره ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp (kg ha^{-1})	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys (kg ha^{-1})	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین بهره‌وری تولید MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	تحمل شاخص تنش به STI	شاخص عملکرد YI	شاخص عملکرد پایداری YSI	میانگین هارمونیک HM
1	TM6-230-VE-7-5-1	4915	2788	0.73	3851.50	2126.33	3701.85	0.68	1.53	0.57	3558.02
2	TM6-230-VE-8-4-1	4587	2163	0.89	3375.00	2424.00	3149.87	0.49	1.19	0.47	2939.76
3	TM6-250-10-7-1	4784	2178	0.92	3481.17	2605.67	3228.18	0.52	1.20	0.46	2993.58
4	TM6-B-2-1-E	4956	2194	0.94	3574.83	2761.67	3297.38	0.54	1.21	0.44	3041.47
5	TM6-B-7-1	4761	1966	0.99	3363.50	2795.67	3059.28	0.47	1.08	0.41	2782.58
6	TM6-B-19-2	4248	1971	0.90	3109.50	2277.00	2893.58	0.42	1.08	0.46	2692.65
7	HM5-250-E-1-1	4633	2375	0.82	3504.00	2258.00	3317.13	0.55	1.31	0.51	3140.23
8	HM5-250-E-3-2	4428	1697	1.04	3062.50	2731.67	2741.06	0.37	0.93	0.38	2453.36
9	HM5-250-7-1	4645	1684	1.07	3164.67	2960.67	2797.09	0.39	0.93	0.36	2472.21
10	HM5-250-7-6	4667	1638	1.09	3152.17	3029.00	2764.50	0.38	0.90	0.35	2424.51
11	HM5-300-E-1	4078	1878	0.91	2978.00	2200.67	2767.26	0.38	1.03	0.46	2571.44
12	HM5-300-3-1	4572	1723	1.05	3147.50	2849.67	2806.53	0.39	0.95	0.38	2502.50
13	HM5-300-5-1	4473	2024	0.92	3248.67	2449.33	3008.99	0.45	1.11	0.45	2787.00
14	KM5-200-4-2-E	4378	726	1.40	2552.17	3651.67	1783.22	0.16	0.40	0.17	1245.96
15	Khazar	4022	643	1.41	2332.17	3379.00	1607.67	0.13	0.35	0.16	1108.24
16	Hashemi	4157	1621	1.03	2889.00	2536.67	2595.70	0.34	0.89	0.39	2332.17
17	Tarom	3597	1859	0.81	2728.00	1737.33	2586.00	0.33	1.02	0.52	2451.39
18	Gilaneh	4779	1576	1.13	3177.33	3203.33	2744.10	0.37	0.87	0.33	2369.95
Max		4955.67	2788.33	1.41	3851.50	3651.67	3701.85	0.68	1.53	0.57	3558.02
Min		3596.67	642.67	0.73	2332.17	1737.33	1607.67	0.13	0.35	0.16	1108.24
Mean		4482	1817								
SI		0.59									

YP, grain yield under non-stress condition; YS, grain yield under stress condition; SSI, stress susceptibility index; TOL, tolerance index; MP, mean productivity; GMP, geometric mean productivity; STI, stress tolerance index; HM, harmonic mean; YI, yield Index; YSI, yield stability index.

انتخاب براساس شاخص MP باعث گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا می‌شود. بر اساس این شاخص، پس از ژنوتیپ شماره ۱، ژنوتیپ‌های ۴، ۷، ۳ و ۲ متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. همچنین بر اساس این شاخص، ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ جزء ژنوتیپ‌های حساس بودند. از بین ارقام شاهد فقط ژنوتیپ ۱۸ از تحمل نسبی به خشکی از نظر این شاخص برخوردار بود (جدول ۲). با استفاده از شاخص‌های TOL و MP، امکان تفکیک ژنوتیپ‌های گروه B و C بر اساس تقسیم‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) از یکدیگر وجود دارد.

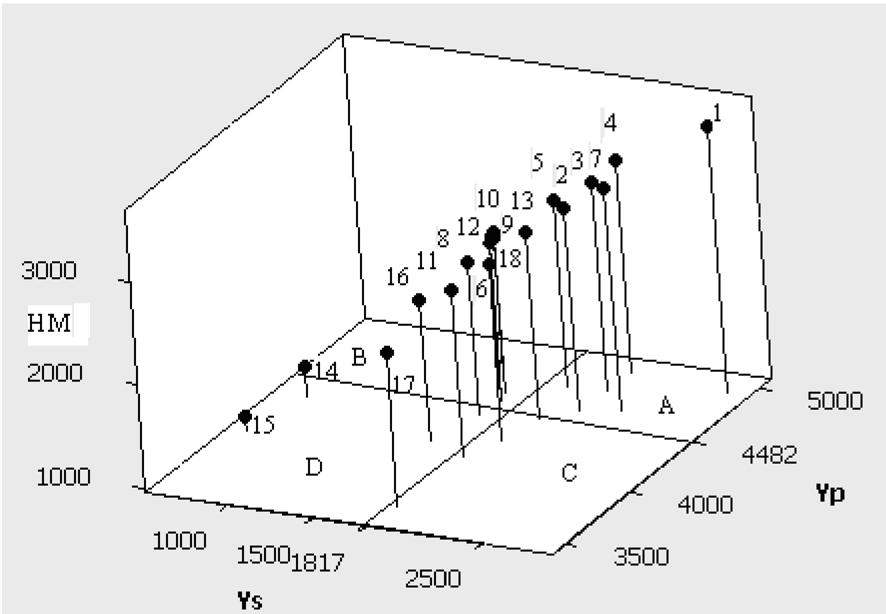
بر اساس شاخص GMP، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳، ۲ و ۵ متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۸ و ۱۸ حساس به خشکی بودند. شاخص GMP برخلاف شاخص میانگین بهره‌وری (MP) حساسیتی به مقادیر نسبتاً زیاد Yp و Ys ندارد و در مقایسه با MP، دارای اریبی به سمت بالا نیست (Fernandez, 1992). بر اساس شاخص STI، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ جزء ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷، ۱۶، ۸ و ۱۸ جزء ژنوتیپ‌های حساس بودند.

ژنوتیپ‌های متحمل فوق، ضمن داشتن بالاترین مقادیر شاخص STI، از نظر میانگین عملکرد نیز در هر دو شرایط محیطی به گروه ژنوتیپ‌های پرمحصول تعلق داشتند. بر اساس شاخص HM، ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳، ۲ و ۱۳ متحمل‌ترین و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۱۰ و ۱۷ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی بودند. بر اساس شاخص YI، متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها عبارت بودند از ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها نیز شامل ژنوتیپ‌های ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۶ و ۱۰ بودند. بر اساس شاخص YSI نیز ژنوتیپ‌های ۱، ۱۷، ۷، ۲، ۶ و ۱۱ متحمل و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۸، ۱۰ و ۹ حساس به تنش خشکی بودند. در مجموع انتخاب بر اساس شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و YI نتایج مشابهی داشت و بر اساس آنها ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ به‌عنوان حساس به تنش خشکی بودند (جدول ۲).

از شاخص‌های MP، GMP، STI و HM با توجه به برتری آنها در شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب، می‌توان برای رسم نمودار سه‌بعدی استفاده نمود و همزمان روابط بین سه متغیر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش و یکی از شاخص‌ها را مطالعه کرد. از این رو، از شاخص HM به دلیل داشتن همبستگی بیشتر با عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی برای نمودار سه بعدی استفاده شد (شکل ۱). بررسی نمودار سه بعدی نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱، ۴، ۷، ۳، ۲ و ۵ در گروه A قرار گرفتند، که نشان‌دهنده عملکرد بالا این ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد. همچنین این نمودار نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۶ و ۸ در ناحیه D قرار گرفته بودند.

تجزیه همبستگی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای انتخاب بهترین ژنوتیپ‌ها و شاخص‌ها استفاده شود (جدول ۳). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال به‌ترتیب با شاخص‌های میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، تحمل به تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HM) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت، که بیشترین آن مربوط به شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (r=۰/۷۸۳) بود. در شرایط آبیاری نرمال شاخص SSI دارای همبستگی منفی با عملکرد دانه بودند. در شرایط تنش خشکی نیز شاخص‌های YI، HM، GMP، YSI، STI و MP دارای همبستگی مثبت و بالایی با عملکرد دانه بودند. در این شرایط نیز دو شاخص SSI و TOL دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد دانه بودند. در تطابق با این نتیجه، در تحقیقی همبستگی منفی بین دو شاخص فوق و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی گزارش شد (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008).



شکل ۱- پراکنش سه‌بعدی ارقام مورد مطالعه بر اساس شاخص‌های YP (عملکرد دانه برنج در شرایط بدون تنش)، Ys (عملکرد دانه برنج در شرایط تنش) و HM (میانگین هارمونیک)

Figure 1- Three dimensional dispersion of the studied varieties based on YP (rice grain yield under non-stress condition), YS (rice grain yield under stress condition) and HarM (harmonic mean)

شاخص‌هایی که در هر دو محیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند، قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند و از این‌رو می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مناسب معرفی شوند (Fernandez, 1992). این بدان مفهوم است که در صورت گزینش بر اساس هر یک از این شاخص‌ها، به‌طور غیرمستقیم ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر انتخاب خواهند شد. لذا در تحقیق حاضر از شاخص‌های MP، GMP، STI و HM برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی استفاده شد. در همین راستا، سایر محققین نیز شاخص‌های MP، GMP، STI و HM را به‌عنوان شاخص‌های برتر معرفی کردند که قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم با عملکرد بالا هستند (Erfani *et al*., 2012; Rahimi *et al*., 2013; Kohansal Vajargah *et al*., 2010; Safaei Chaeikar *et al*., 2008; Ghiasy Oskoee *et al*., 2012). ژنوتیپ‌های ۱، ۷، ۴، ۳ و ۲ براساس شاخص‌های مذکور در رده بالایی قرار داشتند و با توجه به این که در این تحقیق، این شاخص‌ها به‌عنوان برترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل بودند، پس می‌توان ژنوتیپ‌های فوق را به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در تحقیق حاضر معرفی نمود. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۵، ۱۴، ۱۷ و ۱۶ که کمترین مقدار این شاخص‌ها را داشتند، می‌توانند به‌عنوان حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها در این تحقیق معرفی گردند. در تطابق با این نتیجه، در تحقیقی ارقام هاشمی و خزر به‌عنوان ارقام حساس به خشکی در مراحل رویشی و زایشی معرفی شده بودند (Kohansal Vajargah *et al*., 2010).

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط تنش و غرقاب و شاخص‌های تحمل در ۱۸ ژنوتیپ برنج

Table 3- Correlation coefficients among tolerance and susceptibility indices in the 18 rice genotypes

	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین بهره‌وری تولید MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	شاخص به تحمل تنش STI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI	میانگین هارمونیک HM
Yp	1	.443	-.148	.783**	.261	.606**	.633**	.443	.148	.513*
Ys		1	-.950**	.905**	-.750**	.978**	.972**	1.000**	.950**	.993**
SSI			1	-.729**	.913**	-.874**	-.850**	-.950**	-1.000**	-.922**
MP				1	-.396	.967**	.976**	.905**	.729**	.933**
TOL					1	-.605**	-.580*	-.750**	-.913**	-.690**
GMP						1	.991**	.978**	.874**	.994**
STI							1	.972**	.850**	.980**
YI								1	.950**	.993**
YSI									1	.922**
HM										1

جدول ٤- مقادیر ویژه و بردارهای حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شاخص‌های مقاومت به خشکی

Table 4– Principal component analysis using tolerance and susceptibility indices

مؤلفه اصلی Principal component	مقادیر ویژه Eigen value	درصد واریانس Variance (%)	عملکرد دانه در شرایط نرمال Yp	عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی Ys	شاخص حساسیت به تنش SSI	میانگین بهره‌وری تولید MP	شاخص تحمل TOL	میانگین هندسی قابلیت تولید GMP	شاخص تحمل تنش به STI	شاخص عملکرد YI	شاخص پایداری عملکرد YSI	میانگین هارمونیک HM
1	8.27	82.8	0.16	0.34	-0.32	0.32	-0.25	0.34	0.34	0.35	0.33	0.35
2	1.69	17	0.68	-0.02	0.26	0.31	0.52	0.13	0.15	-0.02	-0.26	0.04
3	0.017	0.2	-0.06	0.21	0.26	0.12	-0.27	-0.39	0.60	0.21	-0.26	-0.41

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل به تنش خشکی

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی بیشتر روابط بین ژنوتیپ‌ها از نظر اطلاعات مربوط به شاخص‌های مقاومت به خشکی انجام گرفت. نتایج این تجزیه نشان داد که بیشترین تغییرات بین داده‌ها توسط دو مؤلفه اصلی اول توجیه گردید، به‌طوری‌که این دو مؤلفه حدود ۹۹/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌نمود. مؤلفه اصلی اول ۸۲/۸ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کرد و دارای ضرایب منفی برای شاخص‌های SSI و TOL بود، در حالی‌که برای عملکرد در شرایط شاهد و تنش خشکی و شاخص‌های MP، GMP، STI، YI، YSI و HM ضرایب مثبت ملاحظه شد (جدول ۴). با توجه به مقادیر مثبت ضرایب فوق در مؤلفه اصلی اول، انتخاب بر اساس این مؤلفه می‌تواند موجب گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و عدم تنش شود. بنابراین، این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی نام نهاد. مؤلفه اصلی دوم ۱۷ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه می‌کرد و ارتباط مثبتی با شاخص‌های SSI و TOL داشت. این مؤلفه همچنین ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. از آن‌جایی‌که مقادیر بیشتر این شاخص‌ها نشان‌دهنده حساسیت ژنوتیپ به تنش می‌باشد، بنابراین می‌توان این عامل را تحت عنوان مؤلفه حساسیت به خشکی نام گذارد و انتخاب بر اساس این مؤلفه سبب گزینش و جداسازی ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین و حساسیت بالا به خشکی می‌شود. هرچه مقدار این مؤلفه کمتر باشد، ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتر SSI و TOL و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش رطوبتی باشند. محققین دیگری نیز نتایجی مشابه با نتایج آزمایش حاضر مشاهده نمودند (Ghiasy Oskoee *et al.*, 2012; Erfani *et al.*, 2012).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر خشکی بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، مساحت برگ پرچم، تعداد پنجه، طول خروج خوشه از غلاف و درصد باروری دانه معنی‌دار بود. همچنین تفاوت بسیار معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر تمام صفات فوق وجود داشت. با بررسی شاخص‌های تحمل به تنش مشخص گردید که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM شاخص‌های برتر برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی و با عملکرد بالا بودند و لذا از این شاخص‌ها برای معرفی ژنوتیپ‌های مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی انتهای فصل استفاده شد. در نتیجه با توجه به شاخص‌های مذکور، ژنوتیپ‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ (لاین‌های موتانت M5 از رقم طارم محلی) و (لاین موتانت M5 از رقم هاشمی) متحمل به تنش خشکی و ژنوتیپ‌های ۱۴ (لاین موتانت از رقم خزر)، ۱۵ (هاشمی)، ۱۶ (خزر) و ۱۷ (طارم) حساس به تنش خشکی شناسایی شدند. لذا به نظر می‌رسد که استفاده از موتاسیون توانسته باشد به نحو چشمگیری تحمل به خشکی را در نتاج ایجاد نماید و از این‌رو می‌توان از لاین‌های فوق در پروژه‌های معرفی ارقام مقاوم و یا متحمل به تنش خشکی استفاده نمود.

References

1. Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.
2. Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R., and Soltan, A., 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. International Journal of Plant Production 3: 19-32.
3. Dehghani, H., Omidi, H., and Sabaghnia, N. 2008. Graphic analysis of trait relations for rapeseed using the biplot method. Agronomy Journal 100 (5): 1443-1449.
4. Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A., and Erfani, A. 2012. Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. Sustainable Agriculture and Production Science 23 (4): 136-147. (in Persian).
5. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance. In: Kuo, C. G. (Ed.). Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress Tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC Publication, Tainan, Shanhua, Taiwan. Pp, 257-270.
6. Fischer, K. S., Lafitte, R., Fukai, S., Atlin, G., and Hardy, B. 2003. Breeding Rice for Drought-Prone Environments. Los Baños: IRRI, 98.
7. Fischer, R., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Crop and Pasture Science 29: 897-912.
8. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Brghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77 (4): 523-531.
9. Ghiasy Oskoee, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H., and Mohammadinejad, G. 2013. Evaluation of rice cultivars in

drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. Eectronic Journal of Crop Poduction 6 (4): 55-75. (in Persian).

10. Ghiasy Oskoee, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H., and Mohammadinejad, G. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components in rice landraces and improved cultivars under Gonbad Kavous environmental condition. Cereal Research 2 (3): 165-179. (in Persian).
11. Kohansal Vajargah, F., Amiri, E., Paknejad F., Vazan S., Kohansal Vajargah, S., and Motamedi. M. 2010. Determination of the suitable drought resistance indices in rice varieties. Journal of Crop Production Research 2 (4): 299-313. (in Persian).
12. Lafitte, H. R., Price, A. H., and Courtois, B. 2004. Yield response to water deficit in an upland rice mapping population: Associations among traits and genetic markers. Field Crops Research 6: 1237-1246.
13. O'Toole, J. C., Namuco, and O. S. 1983. Role of panicle exertion in water-stress induced sterility. Crop Science 23: 1093-1097.
14. Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B., and Tarang, A. R. 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (3): 194-199
15. Rosielle, A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21: 943-946.
16. Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H., and Esfahani, M. 2008. Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (4): 315-331. (in Persian).
17. Schnider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.
18. Venuprasad, R., Sta Cruz, M. T., Amante, M., Magbanua, R., Kumar, A., and Atlin, G. N. 2008. Response to two cycles of divergent selection for grain yield under drought stress in four rice breeding populations. Field Crops Research 107: 232-244.18.
19. Yang, J., and Zhang, J. 2010. Crop management technique to enhance harvest index in rice. Journal of Experimental Botany 61 (12): 3177- 3189.
20. Zubaer, M., Chowdhury, A., Islam, M., Ahmed, T., and Hasan, M. 2007. Effects of water stress on growth and yield attributes of aman rice genotypes. International Journal of Sustainable Crop Production 2: 25-30.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 191-202

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۰۲-۱۹۱

Evaluation of Drought response in Some Rice Mutant Lines Using Stress Tolerance Indices

H. Aminpanah[1]- P. Sharifi[1*]- A. A. Ebadi[2]

Received: 13-01-2017
Accepted: 12-09-2017

Introduction

Drought is a major problem that limits the adoption of high-yielding rice varieties in drought-prone rainfed rice environments. To improve crop productivity, it is necessary to understand the mechanism of plant responses to drought conditions with the ultimate goal of improving crop performance in the vast areas of the world where rainfall is limiting or unreliable. Safaei Chaeikar *et al.* (2008) reported that MP, GMP, HM and STI indices, which showed the highest correlation with grain yield under both optimal and stress conditions, can be used as the best indices to introduce drought-tolerant genotypes in rice breeding programs. They also were introduced Nemat, Sepidrood, IR64, IR50 and Bejar genotypes as tolerant varieties. The present study was conducted to determine how drought affects grain yield in rice mutant lines and also to test this hypothesis in order to identify the most suitable indices/genotypes.

Materials and Methods

A field trial was conducted at Iranian Rice Research Centers in North of Iran, Rasht (latitude 37◦28', longitude 49◦28'E and altitude 7m below the sea level), during the 2014-2015 growing season. The seeds were sown in a nursery on the 10 May and 25 day old seedlings were transplanted to the field. Two separately experiment was carried out under reproductive stage drought stress and controlled conditions based on randomized complete block design with three replications, in four-row plots of three m length. Transplanting was done using 1 seedling per hill; at hill spacing of 25 cm × 25 cm. 18 rice genotypes were consisted 14 M5 mutant lines and their four parental cultivars.

Results and Discussion

Analysis of variance indicated significant effects of drought stress, genotype and interaction effects of two factors on grain yield, plant height, flag leaf area, tiller number and grain fertility percentage. Drought stress at reproductive stage caused reduction in grain yield (59.47%), grain fertility percentage (19.08%), plant height (9.35%), flag leaf area (8.59%) and panicle length (1.61%). Different drought indices probably measure similar aspect of drought tolerance/resistance. Significant yield reduction was observed under drought stress in majority of the rice genotypes studied. Drought tolerance indices were varied significantly indicating genotypic variability. Selection based on these stress tolerance indices will results in identification of drought tolerant genotypes for rainfed ecosystems. The stress tolerance index (STI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP) and harmonic mean (HM) were superior in genotype indicating that they can be used as alternative for each other to select drought tolerant genotypes with high yield performance in both stress and non-stress conditions. To determine the most desirable drought tolerance criteria, the correlation coefficients between Yp, Ys and other quantitative indices of drought tolerance were calculated. The results indicated that there were positive and significant correlations among Yp and MP, GMP, STI and HM. There were also significant and positive correlation between Ys and YI,HM,GMP,YSI,STIandMP. In this experiment, the principal component analysis was performed on eight indices and grain yield under stress and non-stress in 18 rice genotypes. Results showed that the first two components explained 82.8% and 17% of total variation, respectively. The relationship between principal components and studied indices showed that the higher values of first and the lower values of second components were related to drought tolerance and sensitivity to stress, respectively. Selection based on a combination of indices may provide a more useful criterion for improving rice drought-tolerant lines; therefore, studies of correlation coefficients are useful in finding out the degree of overall linear association between any two attributes. According to these drought stress indices, G1, G2, G3, G4 and G5 (M5 mutant lines of local lanrace, Tarom) and (M5 mutant line of Hashemi) were as drought tolerant and G14 (mutant lines of Khazar), G15 (Hashemi), G16 (Khazar) and G17 (Tarom) were sensitive to drought stress.

1- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran
2- Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: sharifi@iaurasht.ac.ir)

Conclusions

Results of present study showed that MP, GMP, YI and STI are best indices for selecting and specifying of rice tolerant genotypes in arid areas. The use of mutation caused drought resistant on the progenies and the above lines can be used in a project of introduction of drought tolerant rice varieties.

Keywords: Grain yield, Mutant line, Principal components analysis, Reproductive stage